

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学号: 200324029

UDC\_\_\_\_\_

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

开路型微波介质陶瓷材料自动化  
测试系统的研究

Research of Parallel-Plates-Open-Type Automatic  
Measurement System for Microwave Dielectric Ceramics

陈赐海

指导教师姓名: 肖 芬 副教授

专 业 名 称: 无 线 电 物 理

论文提交日期: 2006 年 6 月

论文答辩时间: 2006 年 6 月

学位授予日期: 2006 年 月

答辩委员会主席: \_\_\_\_\_

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2006 年 6 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

## 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版,有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅,有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索,有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、保密 (    ), 在        年解密后适用本授权书。
- 2、不保密 (    )

(请在以上相应括号内打“√”)

作者签名:

日期:        年    月    日

导师签名:

日期:        年    月    日

厦门大学博硕士论文摘要库

作者姓名：陈赐海

论文题目：开路型微波介质陶瓷材料自动化  
测试系统的研究

作者简介：陈赐海，男，1974年9月出生，2003年9月师从于厦门大学肖芬副教授，于2006年 月获硕士学位。

## 中 文 摘 要

微波介质陶瓷是在微波频段使用的电子陶瓷，现已广泛应用于微波技术领域，特别是移动通信技术中的谐振器和滤波器。要求具有较高的相对介电常数 $\epsilon_r'$ ，高品质因子 $Q$ 和稳定的谐振频率温度系数 $\tau_f$ 。测试微波介质陶瓷材料性能参数的方法较复杂、测试成本高，一定程度上制约微波介质陶瓷材料研究工作的开展。本论文主要工作是研制开路型微波介质陶瓷材料特性参数自动化测试系统，编写界面友好的测试软件，提高测试效率和精度。同时，研究设计频率温度系数的快速检测系统。

本文首先介绍各种常用的微波陶瓷测试技术，通过分析对比，在课题组前期工作基础上，针对863项目“新型微波介质陶瓷材料与元件的研制”的实际需要，选用开路型平行板介质谐振器法作为研究课题。

论文的第二部分考察了介质谐振器常规分析方法，介绍基于变分理论的开路型平行板介质谐振器法，以便实现自动化测试。同时介绍采用微扰法的谐振器材料损耗角正切测试理论，标定平行金属板的导电率，解决了传导损耗影响问题，提高了测试精度。

论文第三部分介绍了基于开路型介质谐振器法的微波介质陶瓷测试系统的组建。利用GPIB接口卡，建立计算机与网络分析仪的通信，在Agilent VEE环境下编制自动化测试程序，实现实时采集、分析、运算和存储测试的数据。论文从多方面对测量结果进行分析对比，验证该测试系统稳定、准确度高、测量结果

重复性好。

论文第四部分介绍了温度系数快速检测系统的设计方案,针对厦门大学创新项目“微波陶瓷材料温度系数的快速检测”的要求,设计单片机控制电路,步进电机驱动电路以及转动测试夹具等。编写单片机程序和测试程序,界面友好,测试方便,预计能够把测试的速度提高到 5-6 倍。最后总结了全文的工作。

**关键词:** 自动化测试; 微波陶瓷; 介电性能

# **Research of Parallel-Plates-Open-Type Automatic Measurement System for Microwave Dielectric Ceramics**

**Chen Cihai**

## **Abstract**

Microwave Dielectric Ceramics (MWDC) is a kind of electric ceramics, which is widely used in microwave technology field, especially for microwave resonators and filters which are applied in wireless communication field. It is expected that MWDC should have high relative permittivity, high quality factor and adjustable temperature coefficient of resonant frequency. The measurement method for MWDC materials is complicated and the cost is expensive, as restricts the research on MWDC materials. In this thesis, an automatic measurement system for dielectric properties of MWDC is developed, which improves the measurement efficiency and precision. A program for measurement of characteristic parameters, which provides a friendly interface for operators, is realized. In addition, a fast testing system for  $\tau_f$  is explored.

Several measurement methods for MWDC are introduced in this paper at first. After comparing these methods, the parallel-plates-open-type resonator method is chosen in our measurement system according to the requirements of the project--National 863 High-tech Plan--<Research of New Microwave Dielectric Ceramics Materials and Components>.

The theory methods for analyzing dielectric resonator are investigated in the second part of this paper. The parallel-plates-open-type resonator method is presented based on variational principle to realize automatic measurement. The test theory about material  $\tan \delta$  based on perturbation is introduced simultaneously. With the help of the calibrated value of the conductivity, the infection of conductor loss is solved to improve the measure precision.

The MWDC measurement system based on the parallel-plates-open-type resonator method is introduced in the third part. GPIB interface card is employed to realize the communication between the personal computer and vector network analyzer. The automatic measurement program is written in the environment of Agilent VEE. Measurement data can be obtained, analyzed, calculated and saved in real time. The measurement results are investigated on many



aspects. It is shown that our system has many virtues, such as stabilization, good repeatability, high precision and efficiency.

The research about quick measurement system for temperature coefficient  $\tau_f$  is presented in the fourth part. Micro controller unit (MCU) circuit, step electromotor driven circuit and the testing fixture are designed and fabricated to satisfy the requirements of the novel project for Xiamen University—<The Quick measurement for the Temperature coefficient of Microwave Dielectric Ceramics>. The codes for MCU and measurement, which provide a friendly interface for operators, are programmed. It is estimated that the testing speed of an improved measurement system is 5-6 times faster than others. In the end of this paper, the whole thesis is summarized.

**Key words:** automatic measurement; microwave ceramics; dielectric properties;

# 目 录

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
第一章 绪论.....	1
1.1 微波自动化测试技术.....	1
1.2 微波介质陶瓷材料发展与应用.....	3
1.3 微波介质陶瓷的性能表征.....	4
1.4 微波陶瓷介质损耗机理.....	5
1.5 介质谐振器测试技术.....	7
1.6 本论文研究的主要内容及其意义.....	8
第二章 开路型平行板介质谐振器法.....	10
2.1 介质谐振器.....	10
2.2 介质谐振器的分析方法.....	10
2.3 平行板介质谐振器法.....	18
2.4 本章小结.....	24
第三章 微波陶瓷介质的介电损耗.....	25
3.1 介质谐振器的品质因数.....	25
3.2 插入损耗与 $S_{21}$ 关系.....	28
3.3 有载 $Q$ 与无载 $Q$ 值.....	30
3.4 金属表面导电率 $\sigma$ 确定.....	31
3.5 本章小结.....	32
第四章 复介电常数自动化测试系统.....	33
4.1 基于 GPIB 测试硬件系统.....	33
4.2 自动化测试程序.....	35

4.3 测试结果分析.....	43
4.4 系统使用注意事项.....	50
4.5 本章小结.....	52
第五章 温度系数测试系统研究.....	53
5.1 引言.....	53
5.2 系统硬件构成.....	53
5.3 系统软件构成.....	58
5.4 本章小结.....	61
第六章 总结与展望.....	62
6.1 总结.....	62
6.2 展望.....	63
参考文献.....	64
论文发表情况.....	68
致 谢.....	69

# CONTENTS

<b>Abstract in Chinese.....</b>	<b>i</b>
<b>Abstract in English.....</b>	<b>iii</b>
<b>1 Introduction.....</b>	<b>1</b>
1.1 Microwave Automatic Measurement Technology.....	1
1.2 Development and application of Microwave Dielectric Ceramics.....	3
1.3 Main Properties of Microwave Ceramics.....	4
1.4 Loss Mechanism of Microwave Ceramics.....	5
1.5 Measurement Methods for Microwave Dielectric Resonator.....	7
1.6 Main Content and Sense of This Paper.....	8
<b>2 The Parallel-Plates-Open-Type Resonator Method.....</b>	<b>10</b>
2.1 Dielectric Resonator.....	10
2.2 Analysis Method of Dielectric Resonator.....	10
2.3 The Parallel-Plates-Open-Type Dielectric Resonator Method.....	18
2.4 Brief Summary of Chapter Two.....	24
<b>3 Dielectric Loss of Microwave Ceramics.....</b>	<b>25</b>
3.1 The Quality Factor.....	25
3.2 Insert Loss and $S_{21}$ .....	28
3.3 The Loaded Q and Unloaded Q.....	30
3.4 Calibration for the Conductivity of the Plates.....	31
3.5 Brief Summary of Chapter Three.....	32
<b>4 Automatic Measurement System for Complex Permittivity.....</b>	<b>33</b>
4.1 Hardware System Based on GPIB.....	33
4.2 Program for Automatic Measurement.....	35
4.3 Analysis of Measurement Results.....	43

4.4 Notice of Operating the System.....	50
4.5 Brief Summary of Chapter Four.....	52
<b>5 Research of Measurement System for <math>\tau_f</math> .....</b>	<b>53</b>
5.1 Preface.....	53
5.2 Components of Hardware.....	53
5.3 Components of Software.....	58
5.4 Brief Summary of Chapter Five.....	61
<b>6 Summary and Prospect.....</b>	<b>62</b>
6.1 Summary.....	62
6.2 Prospect.....	63
<b>Reference.....</b>	<b>64</b>
<b>List of Papers.....</b>	<b>68</b>
<b>Acknowledgement.....</b>	<b>69</b>

## 第一章 绪论

本章介绍微波自动化测试技术特点，虚拟仪器的特点及其发展的趋势。讲述微波介质陶瓷材料的发展与应用，讨论在微波频段下表征介质陶瓷介电性能的三个主要参数和介质极化与损耗的机理。介绍微波陶瓷介电性能的常用测试方法，为了提高低损耗介质陶瓷的测试精度，提出合适方法——开路型圆柱介质谐振器测试法。最后概括本论文各部分的内容与课题研究的意义。

### 1.1 微波自动化测试技术<sup>[1-7]</sup>

随着信息产业的崛起和迅猛发展，电子测试技术和仪器产业无例外地受到它的冲击，2000年初，国外资料表明：面向通信，主要包括网络通信、移动通信、光纤通信、卫星通信等的电子测试仪器，在整个电子仪器市场销售中所占份额已增至50%左右，本世纪这种增长势头肯定还要扩大，成为电子仪器产业中的主导产品。促使电子测试技术快速发展的主要因素是大量引用计算机技术，甚至与计算机一体化，如自动测试标准接口系统，虚拟仪器等的出现和发展。预计在本世纪这些技术会有更大的发展和更新的突破。

#### 1.1.1 自动化测试技术的特点

智能仪器利用微处理器的数据处理、存储等能力，可实现自动校正、多次测量求平均值等技术，从而提高了测量精度，并且大多数仪器配有 GPIB 接口，能方便地接入自动测试系统，接受遥控，实现自动测试。自动测试系统由测量仪器、计算机及相应的接口系统组成。在预先编制好的测试程序管理下，计算机执行数据采集、分析和处理、误差校正，并完成测试结果的显示、存储、传输以及处理自动测试系统自身故障等操作。自动测试技术具有速度快、精度高、重复性好等优点。

##### 1、高速度

由于整个测试过程是在预先编制的程序管理下自动进行，测试速度一般比人工快 50~100 倍。

##### 2、高精度

采用精度增强技术，可以对测试结果进行系统误差修正。由于测试速度快，可进行多次重复测试，用统计平均法提高测试的置信度。同样由于测试速度快，环境变化、温度漂移等对测试结果的影响也降到很低的程度。

### 3、多参数测量

利用计算机的快速计算能力，从一种参数可以转换出多种参数。如自动网络分析仪，通过  $S$  参数的测量，可以算出网络的  $A$ 、 $Z$ 、 $Y$  等参数，还可以进行时域和频域特性的转换。

### 4、高重复性

每次测量都是按同一程序控制进行，避免了人为操作误差，重复一致性高。

### 5、操作简便

由于测试过程是按程序进行，测试人员无需具备高深的理论和熟练的技巧，只需按显示器上提出的问题和提示，做出相应的回答和操作即可。测试设计主要是编制测试程序。要求编制测试程序的技术人员具备较全面的有关测试领域、自动测试技术和计算机知识。而程序一旦编好，就可由非专业的一般技术人员进行测试操作。

## 1.1.2 微波自动化测试技术的发展动态和趋势

自动化测试系统是计算机技术与自动化测试技术相结合的产物，随着仪器设备性能的不断提高，微计算机普遍应用，极大地促进了微波自动测试系统的发展，使电子测量在测量原理与方法、仪器设计、仪器性能和功能、仪器使用等方面产生巨大的变化。微波自动化测试技术从产生到现在已经发展 50 年，就其趋势来看，可以归结为以下几点：

### 1、扩展频段

在保持测试精度的情况下从厘米波段向毫米波段扩展。目前安杰伦公司，ANRITSU 公司等已经有 110GHz 的网络分析仪。

### 2、去嵌入技术的发展

由于微波参数往往和所选的参考面有很大的关系，而在被测器件和测试盒的接口及内部转换头都会引入系统误差。去嵌入技术因此而发展，其目的是利用计算机的存储能力和计算能力自动从测得的数据中扣除测试盒的系统误差，给出高

精度的结果。

### 3、虚拟仪器技术

虚拟仪器(Virtual Instruments)是基于计算机系统的数字化测试测量仪器,它充分利用现有计算机资源,并配以独特设计的仪器硬件和专用软件,能实现普通仪器(如示波器、逻辑分析仪、信号发生器、频谱分析仪等)的全部功能以及一些在普通仪器上无法实现的特殊功能,常被称作“软件仪器”。它利用数据采集模块完成一般测量测试仪器的数据采集功能,利用计算机系统完成一般测量测试仪器的数据分析和输出显示等功能。

虚拟仪器具有功能多样,测量准确,界面友好,操作简易,易于扩展,价格低廉等特点。是计算机技术、现代测量技术共同发展的结晶,代表着当今仪器发展的最新趋势,也是自动测试系统设计的一种新潮流。

## 1.2 微波介质陶瓷材料发展与应用

微波介质陶瓷(Microwave Dielectric Ceramics)是指应用于微波电路中作为介质材料完成一种或多种功能的陶瓷。微波陶瓷材料是近几十年逐渐发展起来的一类新型电子材料,用该材料制作的微波介质器件具有易于小型化、损耗低、温度系数小的特点。微波介质陶瓷的制造成本低,是一种经济的电子元器件材料<sup>[8]</sup>。

目前,微波介质陶瓷的应用主要有两大类,一类是作为介质谐振器用,进而构成多种功能器件。典型例子有:使用于 800MHz 的汽车电话和使用于 12GHz 的卫星直播已分别于 1979 年 12 月及 1984 年 5 月在日本开始实用化。在汽车电话中,微波介质陶瓷用于制作信号收发共用的带通滤波器。另一类是作为微波集成电路等的介质基板、介质波导线路、介质天线及高频电容器介质等。其中应用最广的是第一类——介质谐振器,通过使用高介电常数陶瓷可以实现谐振器小型化。人们在应用研究过程中,对微波介质谐振器在结构设计上也相应进行了大量的工作,现已开发应用的介质谐振器类型、工作模式与结构如表 1.1 所示<sup>[9-10]</sup>。

总之,微波陶瓷材料是一种应用前景广阔的电子信息材料,当前高速发展的无线通信产业为微波介质陶瓷器件提供广阔的市场,微波介质陶瓷材料在通信领域将发挥越来越大的作用。可用来制造介质滤波器、微波介质振荡器、双工器等微波器件,这些器件被广泛应用于蜂窝移动通信、无线局域网、无绳电话、卫星



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库